**PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING KONDISI RUANG KELAS MENGGUNAKAN WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS WI-FI**

**Muladi1), Marji2), Heru Wahyu Herwanto**3)**, Samsul Hidayat**4)

1,2,3 Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

email: [1muladi@um.ac.i](mailto:1muladi@um.ac.id)d, [2teknikmesin@um.ac.i](mailto:2teknikmesin@um.ac.id)d, [3heruwh@um.ac.id](mailto:3heruwh@um.ac.id)

4 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang email: [samsulhdy@yahoo.com](mailto:samsulhdy@yahoo.com)

***Abstract***

*One of the factors that affect student achievement is the condition of classrooms. Light intensity, air composition, humidity, and temperature is the main factors that determine the health and comfort of the study. The use of air conditioner (AC) to improve the comfort of the room can be transformed into a source of disruption to health if it is not accompanied by air quality control. This research aims to design and build a monitoring and control system that provide health and comfort in the classroom by using wireless sensor networks (WSN). Research conducted by the research and development approach using prototyping models. The results showed that the WSN can accurately measure ambient conditions at all locations within the classroom. WSN can be integrated with an exisiting wireless network so that the measurement data can be stored and processed on the server and accessed via a web page. Controlling the room conditioners using intelligent system provide classrom with the temperature, humidity, CO2 in a healthy and comfortable threshold. Power savings of 0.2% within 40 hours of observation is achieved. The results stated that the system can ensure a healthy and comfortable classroom.*

***Keywords:*** *monitoring, kontrol, ruang belajar, wireless sensor network, wi-fi*

**1. PENDAHULUAN**

Kualitas sarana dan prasarana pembelajaran sangat berpengaruh terhadap keberhasilan belajar siswa terutama sarana dan prasarana kelas. Kegiatan pembelajaran dari tingkat terendah sampai tertinggi menggunakan kelas sebagai tempat utama untuk beraktifitas. Ruang kelas dibuat dengan ukuran yang sesuai dengan jumlah peserta didik pada tiap kelas dengan tujuan untuk memberikan ruang gerak yang cukup dan ketersediaan udara untuk bernapas yang memadai. Sirkulasi udara dalam ruang dapat terjadi dengan dibuatnya jendela-jendela yang berada di sekeliling ruangan yang sekaligus memberikan pencahayaan yang baik ke dalam ruangan. Menurut hasil penelitian Marsidi dan Kusmindari (2009) diperoleh hasil bahwa suhu dan kelembabaan berpengaruh terhadap proses belajar. Pengaruh suhu terhadap aktivitas belajar tidak hanya terjadi pada tingkat pendidikan rendah dan menengah tetapi juga pada pendidikan tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Hartawan (2012) menemukan bahwa suhu ruangan kelas berpengaruh pada respons mahasiswa. Motivasi dan partisipasi

belajar dari pada mahasiswa sangat dipengaruhi oleh suhu ruangan tempat belajar. Standar Baku Mutu menurut Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 261 bahwa suhu ruangan yang dianggap nyaman untuk bekerja adalah antara 18-26°C.

Seiring dengan terjadinya perubahan iklim dan pemanasan global, ruangan kelas tradisional seperti tersebut di atas menjadi ruangan yang tidak sesuai lagi untuk kegiatan pembelajaran. Udara di luar ruang lebih panas daripada di dalam kelas, cahaya matahari terang menyilaukan, tiupan udara yang masuk melalui jendela tidak lagi menyegarkan dan menyehatkan karena tingkat polusi udara yang tinggi. Tirai atau gorden menjadi pilihan untuk mengurangi intensitas cahaya, dan kipas angin untuk membantu menurunkan suhu ruangan dan sirkulasi udara. Beberapa sekolah atau perguruan tinggi yang mampu secara finansial menggunakan pengatur kondisi ruangan (*air conditioner*, AC) dan menutup semua jendela dan gordin sehingga tidak ada udara dan cahaya dari luar yang masuk ke ruangan. Selama kegiatan belajar ini, lampu dinyalakan untuk memberikan penerangan dalam ruang kelas. Kebutuhan daya listrik untuk kedua

jenis peralatan tersebut akan berlipat mengikuti ukuran dan jumlah ruangan yang dioperasikan sebagai tempat dilaksanakannya kegiatan pembelajaran.

Penggunaan AC untuk mengatur suhu ruangan kelas semakin meningkat karena kualitas udara semakin buruk dan suhu udara semakin tinggi sebagai efek dari pemanasan global. Dengan pengaturan suhu udara yang dikehendaki, ruang kelas menjadi tempat yang nyaman untuk belajar. Namun demikian penggunaan AC tidak selalu berdampak baik bagi kesehatan. Prasasti dkk (2005) menyatakan bahwa penggunaan AC pada ruang tertutup tidak mempengaruhi kadar gas- gas SO2, CO2 dan O2 dalam udara. AC dengan filter yang baik akan dapat mengurangi bahan partikular dan kadar polen udara. Pengoperasian AC dengan perawatan yang kurang baik akan mengakibatkan kualitas udara menurun dan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan yang disebut sebagai *Sick Building Syndrome* (SBS) atau *Tight Building Syndrome* (TBS).

*The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) melakukan pemeriksaan kualitas ruangan dan hasilnya menyebutkan terdapat 5 sumber pencemaran di dalam ruangan yaitu (Aditama, 2002): (a) pencemaran dari alat-alat di dalam gedung seperti asap rokok, pestisida, bahan-bahan pembersih ruangan; (b) pencemaran di luar gedung meliputi masuknya gas buangan kendaraan bermotor, gas dari cerobong asap atau dapur yang terletak di dekat gedung, dimana kesemuanya dapat terjadi akibat penempatan lokasi lubang udara yang tidak tepat; (c) pencemaran akibat bahan bangunan meliputi pencemaran formaldehid, lem, asbes, fibreglass dan bahan-bahan lain yang merupakan komponen pembentuk gedung tersebut; (d) pencemaran akibat mikroba dapat berupa bakteri, jamur, protozoa dan produk mikroba lainnya yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin beserta seluruh sistemnya; dan (e) gangguan ventilasi udara berupa kurangnya udara segar yang masuk, serta buruknya distribusi udara dan kurangnya perawatan sistem ventilasi udara.

Beberapa ruang kelas dan laboratorium di

Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri

Malang telah menggunakan AC dan proyektor LCD. Jendela di sekeliling ruangan ditutup rapat dan dilapisi dengan gorden untuk

mengurangi cahaya yang masuk. Beberapa ruangan pengap dan berbau karena pintu selalu tertutup untuk menjaga suhu udara tetap dingin. Oleh karena itu diperlukan monitoring terhadap kondisi ruang kelas dan laboratorium serta melakukan pengontrolan terhadap kondisi ruangan tersebut. Penggunaan peralatan monitoring dan kontrol mendukung penghematan daya dan mampu menyediakan ruang yang sehat dan nyaman.

**2. KAJIAN LITERATUR**

Kegiatan pembelajaran membutuhkan ruangan yang nyaman dan sehat agar memberikan hasil belajar yang memuaskan. Tinjauan dari bidang kependidikan dan kesehatan akan disajikan berdasarkan dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan. Perangkat-perangkat yang digunakan untuk mengatur kondisi ruangan agar nyaman dan sehat perlu dikaji dan dipilih. Perangkat dikontrol berdasarkan kondisi ruangan yang dipantau dan diukur oleh node sensor. Sistem cerdas digunakan untuk membuat keputusan pengontrolan yang tepat dan optimal. Berikut ini akan disajikan isu-isu tersebut diatas yang berkaitan erat dengan penelitian ini.

**A. Tinjauan Fisis Tubuh Manusia**

Manusia merupakan titik sentral dari suatu proses perancangan sistem kerja, yang diistilahkan dengan *Human Center Design* (HCD). Oleh karena itu, setiap kegiatan apapun yang bersentuhan dengan manausia perlu memakai konsep HCD untuk mendapatkan rancangan optimal yang memberikan tingkat kinerja tinggi. Dalam proses belajar mengajar di perguruan tinggi terlihat begitu tingginya peran manusia dalam rancangan sistem tersebut, dimana interaksi antara mahasiswa dan dosen pada umumnya terjadi di ruang kelas. Oleh karena itu, pemakaian konsep HCD sangat penting untuk mendapatkan rancangan yang memberikan hasil optimal. Salah satu pertimbangan yang perlu diperhatikan adalah lingkungan kerja, tempat terjadinya proses belajar mengajar tersebut, dimana salah satu variabel pertimbangan adalah kondisi iklim di ruang kelas (kelembaban nisbi relatif dan suhu). Kenyamanan proses belajar mengajar salah satunya ditentukan oleh keadaan lingkungan tempat dimana proses tersebut dilakukan.

Suhu ruangan dan kelembaban nisbi ruangan dinilai sangat memperngaruhi kelancaran proses tersebut. Suhu yang terlalu panas atau dingin dan tingkat kelembaban yang tinggi menyebabkan ketidak nyamanan bagi pengguna ruangan. Maka dari itu perlu ada solusi jika suhu ruangan dan kelembaban dari ruang kuliah belum memenuhi standar normal.

Tubuh manusia mempunyai suhu tubuh disekitar 37°C, yang terdapat di dalam otak,

jantung, dan di daerah organ abdominal.

Daerah organ tersebut merupakan suhu inti. Suhu konstan di sekitar 37°C berguna menjaga

bekerjanya organ vital tubuh secara normal,

sedangkan pada daerah otot, kulit mempunyai suhu sedikit bervariasi. Sistem kontrol yang berguna untuk menjaga suhu inti tubuh dapat dijelaskan oleh Gambar 1. Pusat sistem kontrol panas tubuh berada pada batang otak (*brain stem*) yang berfungsi menjaga suhu inti (*core temperature*) tubuh, dimana fungsinya seperti alat thermostat ruang. Sel syaraf dari pusat kontrol panas menerima informasi keadaan suhu tubuh, khsususnya pada daerah syaraf yang sensitif yang terdapat di kulit. Pusat kontrol panas mengirimkan impuls yang diperlukan secara langsung dan mengontrol mekanisme untuk menjaga suhu inti tetap konstan. Dengan cara seperti itu, panas tubuh yang dihasilkan akan dikeluarkan melalui sistem sirkulasi, kemudian panas tersebut dibuang melalui pengeluaran keringat di kulit.

Hal yang sangat penting dalam pengontrolan panas tubuh adalah fungsi dari

darah yang membawa panas melalui jaringan pembuluh darah, khususnya jaringan

pembuluh darah kapiler dari lokasi tubuh yang panas ke lokasi yang dingin, juga mengirim panas yang ada di dalam tubuh keluar menuju

kulit yang akan didinginkan oleh suhu luar tubuh, atau bila kondisi luar tubuh lebih panas,

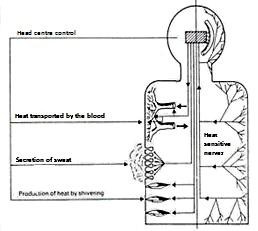
maka panas tersebut akan digunakan untuk memanaskan bagian dalam tubuh yang lain.

Hal ini merupakan kunci dari mekanisme kontrol sirkulasi darah di kulit. Sedangkan regulasi kedua untuk mengontrol panas tubuh

adalah melalui pengeluaran keringat di kulit. Pada regulasi ketiga adalah perpindahan panas

tubuh ke bagian tubuh yang lebih dingin. Gambar 1 menunjukkan mekanisme kontrol suu pada tubuh manusia (Granjean, 1993).

Gambar 1. Mekanisme kontrol suhu tubuh manusia



**B. Syarat Kondisi Kelas**

Persoalan suhu yang berhubungan dengan tingkat tekanan panas atau dingin dipengaruhi oleh kombinasi dari beban kerja, suhu, kelembaban, aliran udara, pakaian, dan lingkungan yang ada disekitar tempat kerja. Untuk mendapatkan solusi dari persoalan diatas adalah merubah kondisi lingkungan yang ada yang sesuai dengan kemampuan manusia, yang meliputi dari faktor lingkungan (suhu, kelembaban, dan aliran udara), pekerjaan (pakaian yang digunakan, jam

kerja-istirahat) dan manusia (jenis kelamin, usia, kesehatan, aklimasi). Pemeliharaan kondisi iklim ruang yang nyaman merupakan hal penting dalam menjaga kesehatan dan efisiensi kerja tinggi.

**1) Metode Penilaian Keseimbangan**

**Panas**

Perlu diketahui bahwa tingkat

kelembaban dan suhu yang terjadi amat berfluktuasi, pengukuran sesaat yang diambil pada waktu tertentu akan sangat berbeda dengan hasil pengukuran pada waktu yang lain, sehingga sulit mengambil keputusan berapa sebenarnya tingkat kelembaban dalam selang waktu tertentu. Angka rata rata aritmatik digunakan untuk mengetahui perbedaannya, sehingga akan mewakili kondisi kelembaban dan suhu sebenarnya sepanjang waktu tersebut. Untuk itu perlu mendapatkan data pengukuran tingkat kelembaban dan suhu untuk digunakan sebagai data memprediksi kondisi mantap dari lingkungan yang ada. Dari beberapa faktor yang digunakan untuk melihat tekanan panas

diperoleh rumus berikut (Alexander, 1986; Astrand, dkk. 1986; Sanders, dkk., 1993):

*S* = *M* + *R - CE* .....................(2.1)

dimana *S* adalah *Storage of Body Heat, M*

merupakan tingkat metabolime tubuh yang dihasilkan untuk digunakan dalam bekerja, bisa digunakan ketentuan bahwa 4 BTU per kkal energi yang digunakan, *R* adalah radiasi dari perpindahan panas dari panas tubuh ke permukaan yang ada di sekitar tubuh. *C* adalah perpindahan panas secara konveksi, perpindahan panas dari tubuh ke daerah sekitarnya melalui udara yang ada. *E* merupakan kehilangan panas secara evaporasi, pembuangan panas dari tubuh melalui keringat dan uap air yang dikeluarkan dari paru-paru.

**2) Ambang Batas Tingkat Kelembaban dan Suhu Ruang**

Pengendalian suhu dan kelembaban

ruang adalah suatu usaha untuk mengurangi tingkat efek yang merugikan sedemikian rupa sehingga tingkat kelembaban dan suhu yang ada tidak melampaui harga batas yang telah ditentukan sehingga tidak mengganggu aktifitas kegiatan/belajar.

Ada kriteria yang digunakan untuk mengetahui tingkat suhu yang nyaman

menjadi acuan Gambar 2 memperlihatkan bahwa tubuh manusia memberikan reksi yang

ekstrim terhadap suhu yang terlalu dingin maupun terlalu panas. Pada suhu yang terlalu dingin dapat mengakibatkan *frosbite*

sedangkan pada suhu terlalu panas akan mengakibatkan *heat stroke.* Sedangkan untuk

tingkat kelembaban nisbi yang berhubungan dengan temperatur ruang disajikan Gambar 3.

Pada daerah ekuator suhu normal sekitar

28 oC sampai dengan 30oC. Pada umumnya perbedaan antara suhu inti (*core temperature*)

dengan suhu kulit (*skin temperature*) sekitar

4oC, tetapi dimungkinkan sampai 20oC. Untuk kelembaban nisbi antara 30% sampai dengan

70% tidak berpengaruh besar terhadap kesehatan. Daerah musim panas/tropis, untuk

kondisi ruang yang tidak memakai AC, suhu udara di dalam ruang direkomendasikan antara

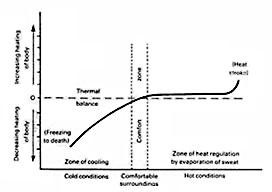
20oC sampai dengan 27oC, sedangkan untuk ruang yang memakai AC adalah 24oC.

Sedangkan untuk kelembaban nisbi yang

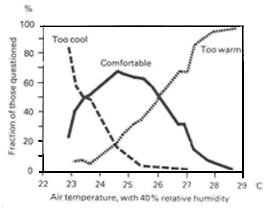
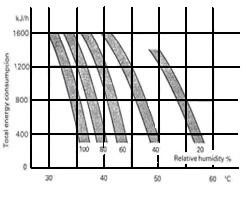
nyaman pada daerah tropis atau musim panas adalah antara 40% sampai dengan 60%. Tingkat suhu yang optimal dalam suatu lingkungan kerja disajikan pada Gambar 4

yang menyatakan bahwa kondisi nyaman adalah jika suhu antara 23oC-27oC dengan tingkat kelembaban nisbi 40%.

Gambar 2. Kesimbangan panas tubuh diantara ekstrim panas dan ekstrim dingin.



Gambar 3 Nilai batas untuk beban panas terhadap usaha fisik (konsumsi energi), kelembaban nisbi dan temperatur udara



Gambar 4. Suhu yang memberikan kenyamanan dalam bekerja pada daerah tropis.

**3) Wet-Bulb Globe Temperature**

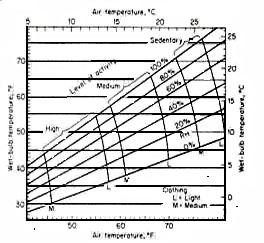
**(WBGT)**

WBGT merupakan indeks rata-rata tertimbang atas penjumlahan ukuran dari kondisi alami temperatur (*Natural Wet-Bulb*

*Temperature (NWB)*, Temperatur Global

(*Globe Temperature =GT*), dan *Dry-Bulb Temperature (DB)*. Untuk kondisi di dalam ruangan, malam hari, atau cahaya matahari yang rendah menggunakan rumus:

WBGT = 0,7 NWB + 0,3 GT ....... (2) Hubungan antara faktor kelembaban nisbi dengan temperatur ruangan disajikan pada Gambar 5 yang menunjukkan bahwa suhu ruang yang semakin tinggi menyebabkan tingkat kelembaban nisbi juga ikut meningkat.



Gambar 5. Hubungan antara kelembaban nisbi dengan temperatur ruangan

**4) Ruang Ber-AC**

Penggunaan *Air Conditioner* (AC)

sebagai alternatif untuk mengganti ventilasi alami dapat meningkatkan kenyamanan dan

produktivitas kerja, namun AC yang jarang

dibersihkan akan menjadi tempat nyaman bagi mikroorganisme untuk berbiak. Kondisi tersebut mengakibatkan kualitas udara dalam ruangan menurun dan dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan yang disebut sebagai *Sick Building Syndrome* (SBS) atau *Tight Building Syndrome* (TBS). Banyaknya aktivitas di gedung meningkatkan jumlah polutan dalam ruangan. Kenyataan ini menyebabkan risiko terpaparnya polutan dalam ruangan terhadap manusia semakin tinggi, namun hal ini masih jarang diketahui oleh masyarakat. Pada dasarnya desain AC yang dipakai untuk mengatur suhu ruangan secara kontinu dapat mengeluarkan bahan polutan. Kadar gas-gas SO2, CO2, dan O2 di dalam ruangan tidak dipengaruhi oleh keberadaan AC.

Bahan partikulat dapat dikurangi secara signifikan oleh AC dengan filter yang efektif. Kadar pollen di dalam ruangan dapat berkurang secara signifikan dengan adanya

AC. Jumlah bakteri dan spora di gedung dengan AC kemungkinan akan lebih sedikit daripada gedung tanpa AC, walaupun sampai saat ini hal tersebut masih diperdebatkan. Hasil pemeriksaan *The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH), menyebutkan ada 5 sumber pencemaran di dalam ruangan yaitu (Aditama, 2002):

- pencemaran dari alat-alat di dalam gedung seperti asap rokok, pestisida, bahan-bahan

pembersih ruangan.

- pencemaran di luar gedung meliputi masuknya gas buangan kendaraan

bermotor, gas dari cerobong asap atau

dapur yang terletak di dekat gedung, dimana kesemuanya dapat terjadi akibat penempatan lokasi lubang udara yang tidak tepat.

- pencemaran akibat bahan bangunan meliputi pencemaran formaldehid, lem,

asbes, fibreglass dan bahan-bahan lain yang

merupakan komponen pembentuk gedung tersebut.

- pencemaran akibat mikroba dapat berupa

bakteri, jamur, protozoa dan produk mikroba lainnya yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin beserta seluruh sistemnya.

- gangguan ventilasi udara berupa kurangnya udara segar yang masuk, serta buruknya

distribusi udara dan kurangnya perawatan

sistem ventilasi udara.

Kualitas udara di dalam ruangan mempengaruhi kenyamanan lingkungan ruang

kerja. Kualitas udara yang buruk akan membawa dampak negatif terhadap

pekerja/karyawan berupa keluhan gangguan kesehatan. Dampak pencemaran udara dalam ruangan terhadap tubuh terutama pada daerah

tubuh atau organ tubuh yang kontak langsung dengan udara meliputi organ sebagai berikut:

- iritasi selaput lendir: iritasi mata, mata pedih, mata merah, mata berair

- iritasi hidung, bersin, sakit menelan, gatal:

iritasi tenggorokan, gatal, batuk kering

- gangguan neurotoksik: sakit kepala, lemah/capai, mudah tersinggung, sulit

berkonsentrasi

- gangguan paru dan pernafasan: batuk, nafas berbunyi/mengi, sesak nafas, rasa berat di dada

- gangguan kulit: kulit kering, kulit gatal

- gangguan saluran cerna: diare/mencret

- lain-lain: gangguan perilaku, gangguan saluran kencing, sulit belajar

Keluhan tersebut biasanya tidak terlalu parah dan tidak menimbulkan kecacatan tetap, tetapi

terasa amat mengganggu, tidak menyenangkan dan bahkan mengakibatkan menurunnya produktivitas mahasiswa.

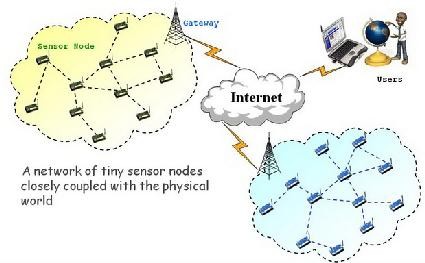
**C. Wireless Sensor Network**

Sebuah *wireless sensor network* (WSN) atau jaringan sensor nirkabel terdiri dari sensor otonom spasial didistribusikan untuk memantau kondisi fisik atau lingkungan, seperti suhu, suara, tekanan, dll dan kooperatif lulus data mereka melalui jaringan ke lokasi utama. Jaringan lebih modern adalah bi- directional, juga memungkinkan kontrol aktivitas sensor. Pengembangan jaringan sensor nirkabel didorong oleh aplikasi militer seperti surveilans medan perang. Pada saat ini jaringan tersebut digunakan dalam aplikasi industri dan konsumen, seperti pemantauan proses industri dan kontrol, pemantauan mesin kesehatan, dan sebagainya.

WSN ini dibangun dari "*node*" - dari beberapa sampai beberapa ratus atau bahkan

ribuan, di mana setiap node terhubung ke salah

satu (atau kadang-kadang beberapa) sensor. Setiap node sensor tersebut biasanya jaringan memiliki beberapa bagian: sebuah transceiver radio dengan antena internal atau koneksi ke antena eksternal, mikrokontroler, sebuah sirkuit elektronik untuk berinteraksi dengan sensor dan sumber energi, biasanya baterai atau bentuk tertanam energi panen. Sebuah node sensor mungkin bervariasi dalam ukuran dari yang dari kotak sepatu ke ukuran sebutir debu, meskipun berfungsi "motes" dimensi mikroskopis asli belum dibuat. Biaya node sensor juga sama variabel, mulai dari beberapa ratusan dolar, tergantung pada kompleksitas dari node sensor individu. Ukuran dan kendala biaya hasil sensor node dalam kendala yang sesuai pada sumber daya seperti energi, kecepatan memori, komputasi dan bandwidth komunikasi. Topologi dari WSN dapat bervariasi dari jaringan bintang sederhana untuk jaringan multi-hop wireless mesh canggih. Teknik propagasi antara hop jaringan dapat *routing* atau flooding. Jaringan sensor nirkabel secara umum diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi wireless sensor network

**D. Penelitian Terdahulu**

Penelitian pada pengembangan sistem WSN telah dilakukan selama sepuluh tahun terakhir. Aplikasi WSN telah dikembangkan pada berbagai bidang diantaranya pemantauan gunung berapi (Zhang, 2005; Werner-Allen dkk, 2006), telepon mobil (Ruan, 2009), sekolah dasar (Silva, 2009; Xuemai dan Liangzhong, 2008), keamanan layanan komunitas cerdas, (Yan, 2006), dan suhu pada bangunan (Bonsawat, .

Hasil penelitian terbaru pada implementasi WSN di dunia pendidikan dilakukan oleh Kim, dkk (2012) yang dimuat dalam *International Journal of Distributed Sensor Networks* Volume 2012. Dalam penelitian ini WSN digunakan sebagai bagian dari teknologi yang berperan sebagai antarmuka antara mahasiswa dan konteks pelajaran, meningkatkan interkatifitas dan memperbaiki akuisisi koleksi informasi yang kontekstual dari pebelajar. Sistem belajar dirancang agar proses pembelajaran dapat dilakukan dimana-mana dan kapan saja (*ubiquitous*).

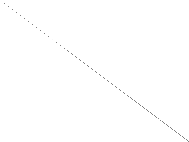
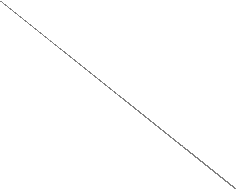
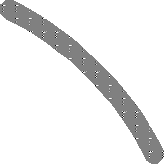
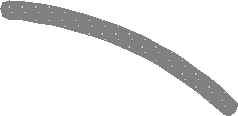
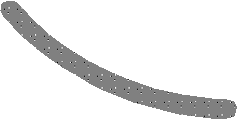
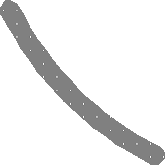
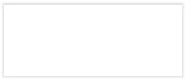
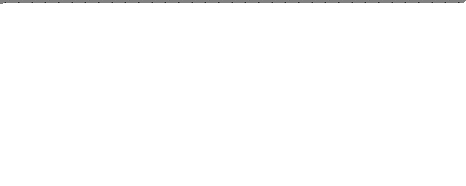
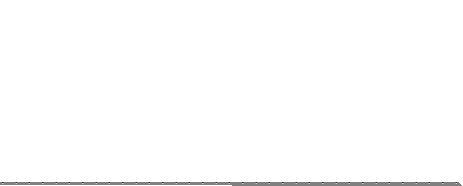
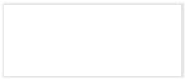
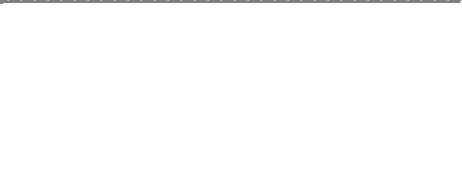
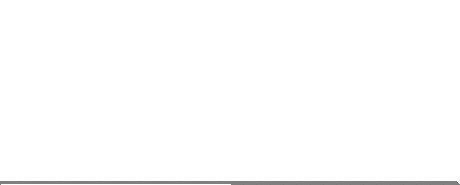
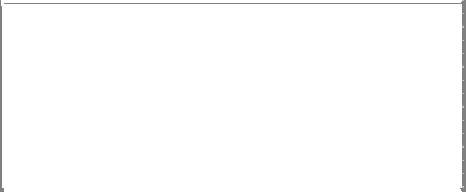
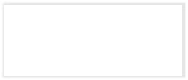
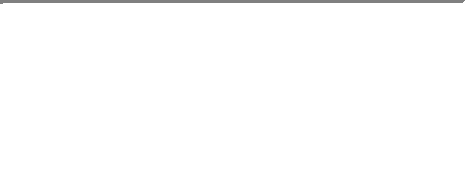
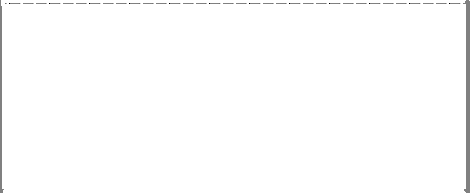
Berdasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu, penelitian ini mengkolaborasikan sensor-sensor fisik lingkungan dan sensor fisik dari pebelajar. Fisik lingkungan yang diindera terdiri dari suhu, kelembaban, kandungan gas (O2 dan CO2), dan cahaya. Fisik pebelajar yang diindera adalah kehadiran, gerak fisik, dan ekspresi wajah. Sensor-sensor ini diintegrasikan dalam suatu titik pengukuran yang disebut node sensor. Node sensor juga mengintegrasikan aktuator untuk mengendalikan perangkat kontrol kondisi fisik lingkungan antara lain, AC, lampu, dan *exhaust fan*. Node sensor ini menggunakan *wireless sensor network* (WSN) *node*. Beberapa node sensor akan dipasang dalam

ruangan dan berkomunikasi dengan server kontrol melalui jaringan wireless.

**3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode *Research and Development* model *prototyping*. Diagram sistem yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 7. Sistem terdiri dari 3 bagian yakni node sensor, mediator, dan server pusat data dan kontrol. Node sensor berupa mikrokontroler yang mengendalikan sensor dan relay/aktuator untuk mengakuisisi data dan menjalankan perangkat. Node sensor dikonfigurasi sebagai server TinyWeb (server ringan) sedangkan server pusat dikonfigurasi sebagai server web dinamis.

Adapun produk yang akan dirancang dan dibangun terdiri dari unit-unit berikut ini: (1) sensor, kontrol, dan monitor kondisi fisik lingkungan (sistem sensor, sistem aktuator, *remote control* perangkat, sistem monitoring berbasis jaringan); (2) WSN Node berbasis *wireless fidelity* IEEE 802.11 (wifi); (3) jaringan komputer nirkabel menggunakan protokol IPv4; (4) kontrol perangkat pengkondisi ruangan berbasis sistem cerdas; dan (5) aplikasi kontrol dan monitoring berbasis web.



Gambar 7 Diagram Sistem

Langkah-langkah yang dilakukan dalam merancang dan mengembangkan seluruh unit- unit sistem tersebut adalah sebagai berikut:

1) perancangan sistem yang terdiri dari sistem sensor, kendali aktuator, dan

sistem monitoring berbasis jaringan komputer *wireless* (wi-fi),

2) pengembangan prototype node sensor dengan komunikasi wi-fi menggunakan Arduino *development board* yang ada di

pasaran yang memiliki keterbatasan pada jumlah sensor yang bisa ditangani,

3) pengembangan sistem database dan aplikasi monitoring berbasis web,

4) pengujian integrasi node sensor, aplikasi monitoring, database, dan jaringan

komputer lokal yang menggunakan wi-fi,

5) pengujian persepsi mahasiswa terhadap kondisi ruangan uji coba,

6) pengembangan node sensor berbasis mikrokontroler yang mengintegrasikan

sensor suhu, kelembaban, CO2, cahaya dan kebisingan serta relay,

7) pengujian integrasi node sensor dengan sistem monitoring dan kontrol yang dilengkapi dengan sistem cerdas.

Data penelitian diperoleh dari hasil pengukuran sensor pada beberapa titik yang masing-masing terdiri dari suhu, kelembaban, kadar gas CO2 di udara, intensitas cahaya, dan tingkat kebisingan. Persepsi mahasiswa diukur dengan menggunakan instrumen angket yang menunjukkan persentase tingkat kenyamanan ruangan. Ruang kelas dinyatakan sehat jika suhu berada diantara 20-28°C dengan kelembaban 40%-60%, kadar CO2 kurang dari

314 ppm, intensitas cahaya antara 250-300 lumens (ruangan dengan whiteboard), dan kebisingan kurang dari 60 dB. Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dan pengontrolan dengan kriteria- kriteria ruang yang sehat.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil yang diperoleh dari setiap tahap dari metode penelitian yang diatas dijelaskan sebagai berikut.

**A. Prototyping Node Sensor**

Pengembangan node sensor dilakukan

melalui tahap prototyping dengan menggunakan perangkat-perangkat yang sudah siap di pasaran dalam bentuk *shield* dan *grove*. *Shield* adalah sistem minimum yang telah diprogram untuk melakukan fungsi tertentu. *Shield* terdiri dari satu atau lebih mikrokontroler dan komponen-komponen pendukung lainnya. *Grove* adalah papan PCB yang berisi sebuah sensor atau *relay* yang telah dilengkapi dengan rangkaian pengkondisi sinyal dan konektor. Contoh *grove* adalah *grove* sensor suhu dan kelembaban, *grove relay* dan lain-lain. *Shield* dan *grove* yang dipilih disesuaikan dengan mikrokontroler utama yang digunakan yakni ATMega328.

Mikrokontroler ini adalah dasar dari sistem minimum yang dikembangkan oleh Arduino. Dengan pemilihan ini diharapkan grove dan shield yang dibutuhkan untuk prototiping telah dikembangkan oleh beberapa vendor antara lain Seeed Studio, DF Robot, ITEAD Studio, Sparkfun, Parallax, dan lain-lain. Harga shield dan grove cukup terjangkau karena sebagian besar berasal dari perusahaan Cina yang mampu mengembangkan produk dengan harga murah dan biaya pengiriman yang lebih rendah jika dibandingkan pengiriman dari Eropa atau Amerika.

Prototipe node sensor menggunakan board sistem minimum Arduino UNO yang

merupakan sistem minimum dasar dari seluruh

produk Arduino. Spesifikasi dan data teknis lain dari Arduino UNO dapat diperoleh dari situs <http://www.arduino.cc>. *Shield* yang digunakan adalah Wifi Bee, Xbee Carrier, Relay Shield, I/O Expansion Shield, dan Ethernet Shield. Wifi Bee adalah *shield* yang berfungsi untuk berkomunikasi antara node sensor dengan akses poin secara *wireless* menggunakan standar 802.11 b/g. Xbee Carrier adalah board sistem minimum mandiri yang menggunakan ATmega328 sebagai prosesornya. Xbee Carrier dilengkapi dengan satu *port* I2C dan satu port digital untuk menghubungkan ke grove sensor atau relay. Jumlah port I/O yang terbatas inilah yang menjadi kendala ketika node sensor menggunakan beberapa sensor dan *relay*. Relay Shield adalah board yang berisi satu atau lebih relay dengan port yang sesuai dengan Arduino. I/O Expansion digunakan untuk mengembangkan port-port yang tersedia pada Arduino sehingga mempermudah menghubungkan *grove* ke Arduino. Ethernet Shield digunakan untuk pengujian komunikasi Arduino dengan jaringan komputer sebelum dihubungkan melalui jaringan *wireless*. Dalam penelitian ini shield yang digunakan diproduksi oleh Seeed Studio (Wifi Bee dan Xbee Carrier) dan DF Robot (Relay, I/O Expansion dan Ethernet Shield).

Sensor yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sensor suhu, kelembaban, CO2, dan intensitas cahaya. Pada tahap prototiping digunakan grove sensor suhu dan kelembaban (dalam satu *grove*), *grove* sensor CO2, dan *grove* sensor cahaya. Beberapa *grove* sensor lain juga telah diuji coba yakni sensor gerak,

sensor suara, dan sensor jarak yang akan digunakan dalam penelitian lanjutan.

Dua prototype yang dapat dibuat dengan menggunakan modul grove dan shield tersebut

diatas. Pertama yakni node sensor mandiri yang terdiri dari Xbee Carrier, Wifi Bee, dan dua buah sensor. Kedua, node sensor dengan

menggunakan Arduino Board, I/O Expansion, Wifi Bee, sensor-sensor, dan relay. Jenis kedua

mampu menampung lebih banyak sensor dan relay dibandingkan dengan jenis yang pertama karena hanya memiliki dua port input-output.

Gambar 8 menunjukkan prototype node sensor

WSN berbasis wi-fi.

(a) (b)



Gambar 8 Node sensor WSN berbasis wi-fi, (a)

model 1, (b) model 2

**B. Pengembangan Node Sensor**

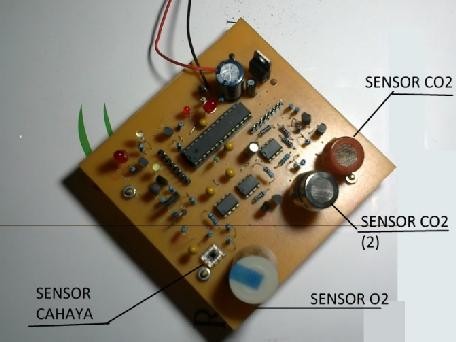
Sensor yang digunakan pada penelitian ini meliputi sensor suhu, sensor kelembaban, sensor CO2, dan sensor cahaya. Relay digunakan untuk menghidupkan dan mematikan lampu, kipas, dan pengkondisi ruangan. Sensor-sensor dan relay ini nantinya dipasang pada *groove* Xbee Carrier melalui port I2C dan melalui port digital. Hal ini disebabkan tidak semua sensor dapat dikonfigurasi dengan menggunakan I2C karena dirancang tanpa *address*. Jika jumlah sensor yang memerlukan koneksi port digital lebih dari satu maka diperlukan multipleksing dengan menggunakan mikrokontroler lain karena Xbee Carrier hanya menyediakan satu port digital. Namun demikian, beberapa sensor tidak dapat bekerja pada port digital melainkan pada port I2C meskipun tidak memiliki address seperti modul sensor suhu dan kelembaban DHT11 yang digunakan dalam penelitian ini. Sensor suhu dan sensor kelembaban menjadi satu modul (*grove*) yang kompatibel dengan *groove* Xbee Carrier. Sementara sensor-sensor yang lain tidak tersedia dalam bentuk modul sehingga dirancang dan dibuat modul sensor untuk O2/CO2 dan modul sensor cahaya serta perangkat multipleksingnya dengan

menggunakan mikrontroler sebagai komponen pengendalinya. Khusus sensor CO2 dimodifikasi dari sensor alkohol yang lebih murah.

Proses selanjutnya dalam membangun node sensor adalah membuat *minimum system* yang akan menjadi penghubung antara Xbee Carrier dengan sensor-sensor dan relay. Mikrokontroler yang digunakan dalam sistem ini adalah ATmega8 yang masih satu keluarga dengan mikrokontroler yang digunakan pada Xbee Carrier yaitu ATmega328. Hal ini bertujuan untuk memudahkan pemrograman dengan kelompok instruksi yang sama.

Realisasi *minimum system* dimulai dengan pembuatan skema rangkaian listrik dengan menggunakan software pembuat *printed component board* (PCB) yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Pengujian sistem sensor dilakukan dengan memberikan catu daya sebesar 5V. Akuisisi data dari sensor oleh mikrokontroler ditunjukkan oleh nyala lampu LED indikator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem sensor telah bekerja sesuai dengan rancangan yang dibuat. Langkah selanjutnya adalah melakukan pemrograman pada Wifi Bee untuk mengakses/memerintahkan sistem sensor mengirimkan data dari setiap sensor yang dikehendaki.



Gambar 9. Modul sistem sensor

**C. Pengembangan Database dan Aplikasi**

**Berbasis Web untuk Monitoring**

Pengembangan antarmuka pengguna ditujukan untuk mengakomodasi jumlah node sensor yang bertambah. Pada Tahun I, aplikasi antarmuka yang dikembangkan hanya menangani 2 node sensor secara bersamaan. Selanjutnya aplikasi tersebut dikembangkan

lagi sehingga dapat menangani 8 sensor node dan dapat dikembangkan lebih lanjut sesuai jumlah node yang akan ditangani. Data hasil pengukuran diproses dan disaring berdasarkan masing-masing kriteria besaran yang diukur. Kriteria ditentukan berdasarkan standar kesehatan dan kenyamanan berbasis persepsi pengguna secara umum. Misalnya suhu udara ditentukan kriterianya sebagai berikut, dingin jika kurang dari 20°C, panas jika diatas 28°C dan diantara 20°C - 28°C ditentukan sebagai kriteria sejuk atau nyaman. Intensitas cahaya yang digunakan dalam ruangan tergantung dari perangkat pembelajaran yang digunakan di dalam kelas. Jika menggunakan whiteboard yang memiliki sifat memantulkan cahaya, intensitas lampu yang digunakan sekitar 250 lumens, sedangkan blackboard berada pada kisaran 250-500 lumens, dan untuk ruangan yang dilengkapi dengan LCD projector dan whiteboard disarankan sekitar 250 lumens (Dora, 2011). Selanjutnya nilai di bawah kondisi ruangan yang nyaman disebut rendah dan nilai di atas kondisi tersebut disebut tinggi.

**D. Pengembangan Sistem Cerdas untuk**

**Pengontrolan**

Data hasil pengukuran dibandingkan dengan kriteria pada Tabel 1 dan akan ditampilkan sesuai dengan warna indikator yang sesuai. Misalnya jika suhu di atas 29°C maka angka pada tampilan aplikasi berwarna merah, suhu dibawah 20°C akan ditampilkan dalam warna biru dan kondisi suhu antara

20°C-29°C akan ditampilkan dalam warna hijau yang menunjukkan kondisi nyaman.

Batas atas dan batas bawah dapat disesuaikan

dengan kebutuhan dan kebiasaan penggunaan ruangan. Misalnya ruang laboratorium membutuhkan suhu yang lebih rendah dibandingkan ruang kelas karena kebutuhan yang ditentukan oleh spesifikasi perangkat yang digunakan. Sebaliknya siswa/mahasiswa merasa tidak nyaman di ruangan bersuhu rendah dengan perbedaan yang besar dengan suhu luar ruang karena aktifitas yang dilakukannya di sekolah atau di kampus bergantian-ganti diantara kedua tempat tersebut.

Hasil perbandingan antara data hasil pengukuran dan kriteria nyaman juga digunakan untuk mengontrol relay. Sumber daya dari perangkat-perangkat elektronik (AC, kipas, dan lampu) dihubungkan ke relay

sehingga ketika relay membuka maka perangkat elektronik akan mati dan sebaliknya jika relay menutup maka perangkat akan menyala.

Tabel 1. Kriteria hasil pengukuran sensor No. Besaran Kriteria

Rendah Nyaman Tinggi

tersebut adalah sebesar 1.832 VA. Gambar 10 menunjukkan tata letak pearangkat pembelajaran dan node sensor.

1. Suhu <20°C 20°C-

28°C

>28°C

2. Kelembaban <40% 40%-60% >60%

3. Gas CO2\*) - <314 ppm 1000 ppm

4. Cahaya 200 300 500

Indikator

Aplikasi

Biru Hijau Merah

Gambar 10. Tata letak perangkat

Pengukuran suhu, kelembaban, CO2,



**E. Pengujian dan Implementasi**

Ruang kelas yang digunakan sebagai prototipe sistem monitoring kondisi lingkungan berbasis WSN adalah ruang Laboratorium Jaringan Komputer yang berada pada Gedung H5 Lantai 2 Fakultas Teknik. Ruangan laboratorium ini berukuran 8x16 meter dengan pintu menghadap ke lorong/koridor, sisi belakang menghadap ke udara bebas luar gedung dan satu sisi yang lain hanya sebagian yang menghadap ke luar gedung. Jendela dari kaca di sisi kanan dan belakang ditutup rapat dan dipasang korden untuk mengurangi cahaya dan panas matahari yang masuk ke ruangan. Lubang angin-angin tertutup kaca sepenuhnya sehingga tidak ada aliran udara yang melaluinya. Pintu dua daun yang terbuat dari kaca menghadap ke koridor gedung dan selalu pada kondisi tertutup. Pengaturan semacam ini menyebabkan tidak ada pertukaran udara di dalam ruangan dan digunakan AC untuk mengatur suhu ruangan. Penerangan dalam ruang menggunakan lampu TL 30W yang diletakkan pada delapan titik titik dan masing-masing titik terdiri dari dua lampu. Setiap dua titik lampu pada posisi sejajar dikontrol dengan menggunakan saklar sehingga dapat dipilih bagian ruang yang akan diterangi lampu. faktor suhu dan kelembaban didalam ruang dimanipulasi dengan menggunakan *air conditioner* (AC) sebanyak

2 buah (AC1 dan AC2) yang berkapasitas masing-masing 1 pK. Sementara itu untuk

memanipulasi jumlah O2 dan CO2 digunakan kipas keluar (*exhaust fan,* EF1 dan EF2) untuk

membuang udara keluar dengan diameter masing-masing 35 cm dipasang di lubang jendela. Konsumsi daya dari seluruh perangkat

intensitas cahaya, dan kebisingan di ruang kelas pada kondisi awal yakni ketika ruang kelas belum dipasang perangkat pengkondisi ruangan. Dengan sirkulasi udara yang minim dan suhu tergantung sepenuhnya pada suhu luar kelas maka kondisi ruang kelas akan berubah sesuai dengan aktifitas yang dilakukan dalam ruangan. Aktifitas harian dimulai pada pukul 07.00 dan berakhir pada jam 17.30 yang terbagi dalam beberapa sesi matakuliah. Alokasi waktu untuk masing- masing matakuliah berbeda-beda antara 2-3 jam kuliah. Jeda satu sesi dan sesi berikutnya selama 5 menit kecuali untuk istirahat siang selama 20 menit.

Kondisi ruangan pada pagi hari jam 07.00 cukup nyaman yakni 26°C dengan kelembaban sekitar 32%, kadar CO2 sebesar 383 ppm, intensitas cahaya 450 lumens dan kebisingan

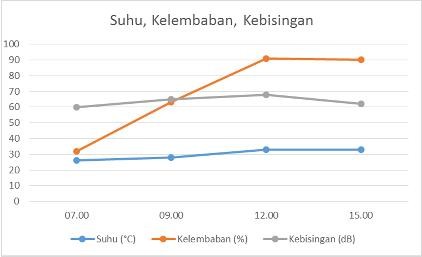
60 dB. Pengukuran yang dilakukan oleh keempat node sensor WSN menunjukkan hasil

yang hampir sama dengan selisih 1 nilai.

Pengukuran ini dilakukan pada bulan Oktober

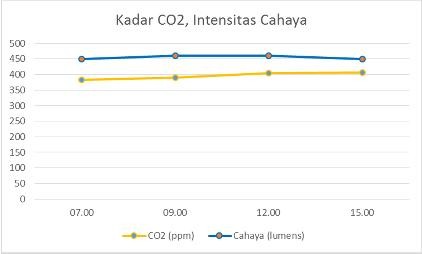
- Nopember 2014 yakni pada akhir musim kemarau dengan cuaca cerah. Pada jam 09.00 suhu ruangan meningkat menjadi 28°C, kelembaban 45%, kadar CO2 sebesar 390 ppm, intensitas cahaya 450 lumens, dan kebisingan

65 dB. Pada siang hari kondisi ruang kelas tidak nyaman sama sekali yakni ketika suhu mencapai 33°C. Untuk mengatasi hal ini pintu ruang kelas dibuka agar terjadi sirkulasi udara untuk menurunkan suhu dan menurunkan kadar CO2 serta meningkatkan kadar O2. Gambar 11 menunjukkan grafik peningkatan parameter kondisi lingkungan ruang kelas.



(a)

(b)



Gambar 11. Kondisi lingkungan ruang kelas

Pengukuran kondisi ruang selanjutnya dilakukan ketika ruangan menggunakan perangkat pengkondisi ruangan yakni *air conditioner* (AC) dan kipas *exhaust*. Pengukuran pertama dilakukan dengan pengaturan AC dan kipas yang tetap, sedangkan pengukuran kedua secara adaptif. Pada pengaturan tetap, AC diatur pada suhu

25°C dan kipas pada nyala dengan putaran maksimum, dan lampu 2 bagian menyala (1

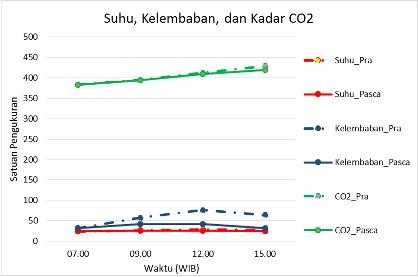
bagian mati). Pengaturan secara adaptif

dilakukan dengan pengaturan AC dan kipas yang disesuaikan dengan perbandingan antara

kondisi ruangan dan ambang kriteria yang

ditentukan.Jika indikator berwarna merah maka suhu AC diturunkan dan kipas ditingkatkan kecepatannya. Sedangkan jika indikator berwarna biru, maka suhu AC dinaikkan dan kipas dijaga putarannya. Level intensitas cahaya disesuaikan dengan menyalakan dan mematikan sebagian atau seluruh lampu sedangkan level kebisingan tidak dapat diatur dengan perangkat elektronik atau mekanik. Level kebisingan dapat diatur melalui pengelolaan kelas yang kondusif oleh dosen yang sedang mengajar saat itu. Ruang kelas digunakan untuk pembelajaran dengan jumlah mahasiswa 40 orang. Hasil pengukuran dari kedua pengaturan kondisi ruang kelas ditunjukkan pada Gambar 12.

Gambar 12. Perbandingan hasil pengukuran kondisi ruang kelas dengan pengaturan tetap dan pengaturan adaptif.



Konsumsi daya listrik oleh perangkat elektronik pengkondisi ruangan dilakukan untuk mengetahui penghematan daya yang diperoleh dari penggunaan sistem monitoring dan kontrol kondisi ruangan. Pengukuran dilakukan pada titik induk catu daya yang akan masuk ke ruangan dengan menggunakan sensor arus listrik yang prinsip kerjanya sama dengan tang amper. Konsumsi daya listrik dicatat masing-masing satu minggu pengamatan mulai dari jam 07.00-15.00 WIB untuk setiap pengaturan peralatan yang berbeda (pengukuran I dan pengukuran II) di atas. Diasumsikan bahwa penggunaan seluruh perangkat elektronik dalam rentang waktu pengukuran adalah sama. Perhitungan rata-rata dari hasil pengukuran selama satu minggu tersebut adalah 73.280 VA ± 120 VA. Simpangan hasil pengukuran kurang signifikan selama masa pengukuran yakni

0,16%. Jangka waktu pengukuran atau pengamatan yang lebih lama akan mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Hasil pengukuran kondisi awal ruang kelas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan

suhu sebesar 2-5°C terjadi setiap 3 jam atau

7°C selama 8 jam pada cuaca panas atau kemarau. Kelembaban udara juga meningkat

pesat seiring dengan peningkatan suhu

ruangan pada siang hari. Peningkatan kelembaban sebesar 30% pada siang hari atau tiga kali dari kadar kelembaban pada pagi hari. Kadar CO2 di udara meningkat sampai dengan

23 ppm dalam enam jam. Intensitas cahaya dan

kebisingan menunjukkan kecenderungan meningkat meskipun sangat kecil. Pada kondisi semacam ini, kegiatan pembelajaran baik teori maupun praktik akan sangat terganggu karena kondisi ruangan yang tidak nyaman. Suhu rata-rata ruangan tanpa AC di

Kota Malang di siang hari pada musim kemarau adalah 30°C atau lebih rendah selisih

3°C dibanding dengan suhu ruang kelas. Perbedaan suhu ruang keseharian dan suhu

ruang kelas cukup signifikan dan dapat menyebabkan kesulitan bernafas. Suhu yang tinggi akan menyebabkan kelembaban

meningkat. Pada kelembaban tinggi kulit akan semakin berminyak dan akan menghasilkan

peluh atau keringat. Kondisi ini diperparah dengan tingginya kadar gas CO2 di dalam kelas yang meningkat karena tidak adanya sirkulasi

udara di dalam kelas dan tidak ada pertukaran udara dengan luar ruang kelas. Tingginya kadar gas CO2 di udara dapat menyebabkan gangguan kesehatan bahkan keracunan. Namun dalam kadar di bawah 500 ppm (setengah dari kadar membahayakan), gas CO2 hanya menyebabkan turunnya konsentrasi dan timbulnya rasa kantuk. Kadar sebesar ini belum sampai pada taraf membahayakan kesehatan atau keselamatan jiwa. Suhu, kelembaban dan kadar gas CO2 yang tinggi pada satu ruang kelas akan menyebabkan penurunan konsentrasi dan kebugaran fisik yang serius pada mahasiswa. Dari hasil pengukuran ini dapat diperoleh dasar yang kuat bagi penggunaan perangkat pengkondisi ruangan di ruang kelas.

Pengukuran parameter kondisi ruang kelas yang menggunakan AC, kipas *exhaust*, dan lampu menunjukkan hasil penurunan yang signifikan pada suhu dan kelembaban serta kadar CO2. Namun penggunaan perangkat pengkondisi udara tersebut tidak banyak berpengaruh pada intensitas cahaya dan kebisingan. Pengukuran yang dilakukan di siang hari pada musim kemarau menghasilkan intensitas cahaya yang tinggi yang berasal dari sinar matahari yang masuk ke ruang kelas. Pengaturan nyala lampu tidak banyak berpengaruh pada pengaturan intensitas cahaya di ruang kelas. Terdapat perbedaan rata-rata hasil pengukuran pada tiap node sensor WSN yang disebabkan oleh posisi relatif masing-masing node dengan AC, kipas, dan jendela kaca. Arah hembusan angin keluaran dari AC1 dan AC2 melewati node sensor WSN2 dan WSN3 yang akhirnya bertemu di node sensor WSN4. Di area node sensor WSN4 ini terjadi turbulensi aliran udara yang berasal dari kedua AC. Area node sensor WSN1 tidak mendapat hembusan udara AC secara langsung sehingga area ini memiliki

suhu dan kelembaban paling tinggi dibanding dengan area lainnya. Pemasangan kipas exhaust di dekat area node sensor WSN3 ditujukan untuk memecah turbulensi udara pada area node sensor WSN4 dan mengarahkan aliran udara ke node area WSN3. Kipas ini juga menyebabkan kadar CO2 pada area node sensor WSN3 paling rendah dibanding area lainnya dalam ruang kelas. Peningkatan suhu udara maksimum sebesar

5°C, minimum 3°C dan rata-rata sebesar

3,75°C pada seluruh titik pengukuran setelah kegiatan pembelajaran selama enam jam. Suhu

maksimum pada salah satu node sensor WSN

yang mencapai 30°C terasa sangat panas dibanding suhu pada pagi hari sebesar 26°C, bahkan suhu ini lebih tinggi 1-2°C jika dibandingkan dengan suhu di luar ruang kelas. Kelembaban udara meningkat maksimum sebesar 54% atau tiga kali lipat dibanding pagi hari, minimum sebesar 29% (dua kali lipat) dan rata-rata 38,7%. Kadar CO2 meningkat cukup tinggi yakni rata-rata 37,5 ppm dan maksimum sebesar 52 ppm yang terjadi pada area node sensor WSN4. Turbulensi udara dari AC menyebabkan tingginya kadar CO2 pada area ini. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kipas exhaust mampu mendistribusikan penurunan suhu dan kelembaban oleh AC tetapi belum mampu menurunkan kadar CO2. Peningkatan suhu, kelembaban, dan kadar CO2 ini cukup tinggi dan menyebabkan gangguan yang cukup signifikan pada konsentrasi dan kenyamanan mahasiswa serta menurunkan kebugaran fisik. Peningkatan ini terjadi secara tidak merata pada area-area di dalam ruang kelas sehingga dampaknya pada mahasiswa juga berbeda- beda bergantung pada posisi duduknya. Kegiatan belajar yang membutuhkan pergerakan mahasiswa dari satu area ke area lain dapat memeratakan dampak peningkatan suhu, kelembaban dan kadar CO2 tersebut terhadap mahasiswa.

Pengaturan perangkat elektronik secara adaptif berdasarkan hasil pengukuran node

sensor WSN menghasilkan kondisi ruang kelas yang lebih nyaman dan sehat. Hal ini

ditunjukkan oleh peningkatan yang kecil suhu, kelembaban, dan kadar CO2. Suhu meningkat maksimum sebesar 2°C, minimum 1°C dan

rata-rata sebesar 1,125°C. Peningkatan yang kecil juga terjadi pada parameter kelembaban yang meningkat maksimum 10%, minimum

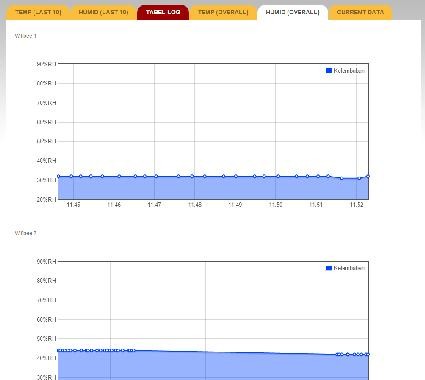
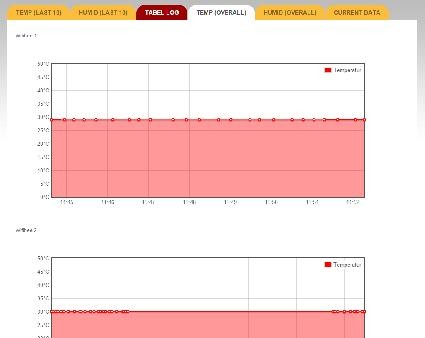
0% dan rata-rata 5%. Peningkatan kelembaban sebesar 10% (menjadi 42%) tidak menyebabkan kulit berminyak dan lengket sehingga tidak mengganggu kenyamanan. Kadar CO2 di udara ruang kelas masih tinggi yakni maksimum 37 ppm, minimum 25 ppm dan rata-rata 30,75 ppm. Tingginya peningkatan kadar CO2 menyebabkan penurunan konsentrasi dan kebugaran fisik.

Hasil ketiga pengukuran yang telah dilakukan dengan menggunakan node sensor WSN berbasis wi-fi menunjukkan bahwa sistem WSN yang dibangun telah mampu memonitor kondisi parameter lingkungan ruang kelas yang berpengaruh terhadap konsentrasi, kenyamanan dan kebugaran fisik mahasiswa. Sistem WSN berbasis wi-fi yang dibangun dapat mengukur parameter, mengirimkan data hasil pengukuran, menyimpan, mengolah dan menampilkannya secara komunikatif. Hasil monitoring dan kontrol yang disajikan berbasis web dinamis dapat diakses melalui jaringan komputer baik intranet maupun internet. Hasil monitoring pada aplikasi berbasis web ditunjukkan pada Gambar 13.

**5. KESIMPULAN**

Dari data dan pembahasan hasil penelitian yang telah dipaparkan dapat disimpulkan hal- hal sebagai berikut. Perangkat node sensor dengan lima jenis sensor lingkungan yang berbeda (suhu, kelembaban, kadar CO2, intensitas cahaya, dan kebisingan) yang dikembangkan dengan metode prototyping mampu berkomunikasi melalui jaringan komputer wireless (wi-fi) dengan server untuk mengirimkan data hasil pengukurannya. Server web berbasis PHP dan database menggunakan MySQL mampu menyimpan, mengolah dan menyajikan data hasil pengukuran node sensor WSN secara informatif dan komunikatif yang dapat diakses melalui jaringan komputer. Ruang kelas tanpa pengkondisi udara yang digunakan selama enam jam berturut-turut akan menyebabkan peningkatan suhu, kelembaban dan kadar CO2 di udara yang berakibat pada penurunan konsentrasi dan kebugaran siswa secara serius. Penggunaan pengkondisi udara dan kipas exhaust dapat menurunkan suhu dan kelembaban namun belum mampu menurunkan kadar CO2 di ruang kelas.

(a)



(b)

(c)



Gambar 13 Aplikasi monitoring berbasis web, (a) grafik pengukuran suhu, (b) grafik pengukuran kelembaban, (c) halaman kontrol

Node sensor WSN berbasis wi-fi dapat melakukan pengukuran terhadap perubahan parameter lingkungan kondisi ruang kelas. Berbasis hasil pengukuran sistem WSN, pengontrolan perangkat pengkondisi ruang dilakukan secara adaptif dan menghasilkan ruangan yang lebih nyaman dan bugar karena peningkatan suhu dan kelembaban yang

kecil.Pengaturan perangkat elektronik pengkondisi udara di dalam ruang kelas secara berubah-ubah (adaptif) belum dapat menurunkan konsumsi daya listrik secara siginifikan jika dibanding dengan pengaturan perangkat secara tetap. Observasi dalam waktu yang lebih panjang diperlukan untuk melihat penurunan konsumsi daya yang disebabkan oleh pengaturan tersebut.

**6. REFERENSI**

Aditama, Tjandra Y. 2002. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.

Alexander, DC. 1986. *The Practice and Management of Industrial Ergonomics*. New Jersey: Prentice Hall.

Dora, P. E. 2011. Optimasi Desain Pencahayaan Ruang Kelas SMA Santa Maria Surabaya. *Jurnal Dimensi Interior*, *Vol. 9, No.*

*2*, Desember 2011, hal. 69-79.

Grandjean E. 1993. *Fitting the Task to the*

*Man, 4th Edition*. London: Taylor & Francis. Kroemer KHE, Kromer HB, Kroemer- Elbert

KE. 1994. *Ergonomics: How to Design for*

*Ease and Efficiency*. New Jersey: Prentice

Hall.

Hartawan, A. 2012. Studi Pengaruh Suhu Terhadap Kecepatan Respon Mahasiswa di Ruang Kelas dengan Metode Design of Experiment. *Skripsi*. Program Studi teknik Industri, Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.

Kim, H. dkk. 2012. Design of an Effective WSN-Based Interactive u-Learning Model. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 2012 (2012).

Konz S. 1983. Work Design: Industrial Ergonomics, 2nd Edition. New York: Mcgrill Publishing.

Marsidi dan Kusmindari, D. 2009. Pengaruh Tingkat Kelembapan Nisbi dan Suhu Ruang Kelas Terhadap Proses Belajar. Jurnal Ilmiah TEKNO, Vol. 6, No. 1 Tahun 2009.

Prasasti, dkk. 2005. Pengaruh Kualitas Udara pada Ruangan Ber-AC bagi Gangguan Kesehatan. Jurnal Kesehatan Lingkungan : No.

1, Vol. 2. Universitas Airlangga.

Silva, R. dkk, 2009. Wireless Sensor Networks to support elementary school learning activities. International Conference on Computer and Technologies.

Ruan, Zheng. 2009. Wireless Sensor Network Deployment in Mobile Phones Environment. PhD Thesis. Upshala University.

Sanders M., McCormick. 1993. Human Factors in Engineering and Design, 7th Edition. Singapore: McGraw Hill.

Stern, Arthur C., dkk. 1973. Fundamental of

Air Polution. Academic Press Inc.

Werner-Allen, G. dkk. 2006. Deploying Wireless Sensor Network on an Active Volcano. IEEE Internet Computing Magazine, March-April 2006.

Xuemei, L. dan Liangzhong, J. 2008. WSN Based Innovative Education Practice. Proceeding CCCM '08 Proceedings of the

2008 ISECS International Colloquium on

Computing, Communication, Control, and

Management - Volume 01 Pages 704-707.

Yan, R.H., dkk. 2006. Wireless Sensor Network Based Smart Community Security Service. The 2nd Workshop on Wireless, Ad Hoc, and Sensor Networks. August 10, *2006*. National Central University, Taiwan.